

プレストレスト コンクリート工事  
の施工計画 (3)

場所打工法について

宮 地 清\*

1. はしがき

わが国のPC橋梁はプレキャスト桁製作、架設による中・小橋梁から始まったもので、この形式の発展はめざましいものであるが、近年スパンの長大化、連続桁橋等が計画されるに至って、場所打形式のPC橋梁が多く見られるようになった。

4号、5号に続いて、本号では場所打工法とくに支保工について、その概要を述べようと思う。

Verbauwagen を用いた場所打工法 (Dywidag 工法) については、別稿にゆずることとする。

2. 施工計画

(1) 設計上の問題点

一般にPC橋梁を設計する場合、架設地点の状況すなわち河川流量、桁下余裕、作業用地等の点からプレキャスト桁架設工法によるか場所打工法によるかが決定されるわけであるが、いずれの場合も現場施工上に矛盾を生じない設計をしなければならない。特に場所打工法の場合は、支保工上でコンクリート打設が行なわれるため、強力な型わく振動機を用いてコンクリートを締固めることは、型わく、支保工に狂いを生じたり、また同一支保工上の既設コンクリートに悪影響をおよぼすことがあるので底打振動機程度にとどめ、おもに棒状振動機により締固めることが多い。したがって設計上において棒状振動機のそう入できるようなケーブル配置を工夫し、断面もあまり複雑な薄い構造としない方がよい。

一般に箱桁橋、連続桁橋、ラーメン橋等は、場所打工法によることが多いが、現場条件によってはプレキャスト桁架設後、上下目地床版を合成して箱桁とする方法、スパン中央部分にプレキャスト桁を架設し、支点付近を場所打工法としてケーブルを連結して連続桁とする方法、あるいは同様なラーメン構造等、場所打工法とプレキャスト工法を併用することによって、相応きびしい条件においても施工可能となる。また深い渓谷あるいは急流河川で、支保工費が膨大となるような場合、Dywidag 工

法は有利な方法であるが、BBRV 工法により架設 PC-Cable を用いてプレキャスト張出桁を架設し、ケーブルを連結して連続桁とする方法も支保工が不要となり有効な工法である。従来のプレキャスト連続桁工法が支点上で連結されるのにくらべ、架設用 PC-Cable を用いたプレキャスト張出桁工法は、支点より 0.2~0.3l 離れた点で連結されるため、曲げモーメントを有効に分配できる点、桁連結部は最大せん断力を生ずる位置を避けることができる点において優れている。

簡単な構造で施工可能な地点に、あえて複雑な設計をする必要はないが、現場条件によっては大いにPCの特徴を発揮しうる構造設計を工夫すべきである。

(2) 支保工

場所打工法において支保工は工費、工期の面からも非常に大きな役割を持っていることは、鉄筋コンクリート構造の場合と変りがない。PC構造の場合はプレストレスを与える途中において支保工を降下させる必要があるため、その実用期間はやや短縮されるが、工事の大部分が支保工上で行なわれるため、有害な沈下や変形を生じないようにしなければならない。またプレストレス導入前のコンクリートは、鉄筋コンクリート構造にくらべ鉄筋量が非常に少ないため、微少な変形、振動に対しても、ひびわれを生ずる可能性があり、巾員の狭い橋梁等では特に横方向についても十分補強をしなければならない。

支保工形式を決定する際には、次のような事柄を考慮に入れる必要がある。

- a) PC構造設計上から要求される点
- b) 河川水位、流量調査、特に出水時期、流木の有無
- c) 地盤の耐力試験、地質柱状図の検討
- d) 使用材料の強度
- e) 市街地高架の場合、重交通にともなう振動の有無

設計者は施工上矛盾の生じない現場条件に合致した設計をすべきことは既述のとおりであるが、施工者は設計上の仮定、施工順序など設計図に明示されたことについて忠実に施工することが最も大切なことである。次に河川出水状況により支保工形式が大きく左右されるものであって、できる限り河川流心部は出水期を避けて施工するよう計画することが好ましいが、やむなく出水期に施工する場合、支保工基礎が洗掘されないよう処置をしなければならない。また河川の流水断面積を減少しないようにすることが大切である。そのため柱間隔を広くする方がよいが、はり材に大きな断面が必要となる。したがって支保工の形式は河川あるいは地盤の状況により、基礎工費と、はり材費および転用の問題より決定されることになる。

\* 北海道ビーエスコンクリートKK

支保工は使用材料の性質にもよるが、コンクリート重量により沈下を生ずるため、支保工天端の決定には推定される沈下量だけ上越しをする必要がある。

上越し量は ①柱、はりの接触面のなじみ変形、②柱、はりの弾性変形、③地盤沈下、④プレストレス+自重+クリープ、乾燥収縮によるたわみ、等の合計である。

柱、はりの接触面変形は一般に使用される木材（針葉樹）の場合で接触面1カ所につき多くの施工結果から推定して次の値が考えられる。

製材～製材（繊維に直角方向）	0.5～1.5 mm
柱～はり（現場継手）	2.0～4.0 "
サンドル組基礎	1.5～2.0 "

これらは木材の塑性変形と仕口の施工誤差によるもので正確に知るにはでき上った支保工で載荷試験をする以外にない。柱、はりの弾性変形量は弾性理論により計算すればよい。しかし木材のヤング係数は含水率により異なるため注意が必要である。地盤に圧密沈下が考えられる場合は載荷試験により決定するのが最も望ましいが、荷重を広く分布させる方法、あるいは杭打公式から計算される支持力にさらに安全度を考慮する方法をとった方がよい。詳細には「建築基準構造設計基準解説」を参照されたい。

プレストレス+自重+クリープ乾燥収縮によるたわみは一般には上向となるが、連続桁を分割施工とする場合は各施工段階におけるたわみに対する調整を行なう必要がある。

以上の上越し量は支点から  $1/4l$  付近までに放物線状にすりつけるとよいと思われる。1～3 cm の調整には堅木のクサビが用いられる。支保工の降下を目的とする場合、クサビの勾配は 1:6～1:8 くらいがよいが、こう上には 1:10 以上とし接触面にグリース等を塗っておくのがよい。いずれの場合もコンクリート打設時振動により、ずれないようにカスガイ、釘などで止めて置かなければならない。

さらに大きな調整を必要とする場合や1カ所あたりの荷重が大きい場合は費用がかさむが、特殊ジャッキを使用した方がよい。比較的大きな荷重でも支保工の降下を目的とする場合はサンドバッグ等、安価で有効である。

支保工材料として入手が簡単で購入価格の安い木材が主に用いられてきたが、最近、鋼製パイプ サポートが広く用いられている。これは作業も能率的で取扱方法、稼働率にもよるが、耐用年数 20 年といわれ一回あたりの償却費も木材にくらべいちじるしく安価である。

ビテー サポート<sup>2)</sup> の例をあげると

鳥居状の主わくは 1.0～3.0 m まで3段階に分かれているため組み合わせによって必要な高さにすることができ

るし、また荷重の大きさによっては、交差筋違を取りかえるだけで 0.6～3.0 m まで7段階に主わく間隔を変えることができる。

主わくに専用のジャッキを取りつけることによって、簡単に支保工の調整をすることができる。

主わく1組あたりの許容荷重は 5.0 t で 3.0 以上の安全率を有するといわれている。

柱間隔を広くする必要がある場合には、垂直許容荷重 16 t で伸縮可能な組立式支柱があり、はり材には連結ターンバックルを有するトラス構造で、組み合わせによって 60 t・m まで許容できる。このような工場製品は量産化することによって、さらに価格も安くなることが考えられるので、この方面の発展が大いに期待される。

### （3）支保工上のコンクリート打設

前述のごとくコンクリート重量によって支保工の多少の沈下はまぬかれがたいが、支保工になるべく均等に荷重がかかるよう、コンクリート打設順序を十分検討し、支保工の不等沈下を極力避けなければならない。支保工の不等沈下はコンクリートに、ひびわれを生ずる原因となるから、あまり長区間にわたって単体的に打設せず適当な位置に施工継手を設ける方がよい。鉄筋コンクリート標準示方書第 128 条に「打継目の位置および方向は構造物の強度および外観を害しないように、これを定めなければならない」とあるが、さらに支保工の構造をも考慮に入れる必要がある。

PC 橋梁では設計上全断面有効と考えているから、最大曲げモーメントを生ずる位置、最大せん断力を生ずる位置はなるべく避けた方がよいが、やむなく連続桁の支点上に打継目を設ける場合は、打継目に凹凸をつけ、さらに鉄筋で補強をした方がよい（少なくとも断面の 0.2 % 相当の打継目連結鉄筋を配置した方がよい）。

PC 橋梁の場合、打継目の間隔は 20 m 以内とする方がよいと思われる。これはプレストレス導入前、コンクリートの収縮が型わくおよび支保工により拘束され、引張応力を生ずる（これは特に剛な鋼製型わくでも使用されない限り 20 m 以内では一般に小さいものである）。さらにこの引張応力は支保工の不等沈下、振動あるいは追加荷重（既設腹部コンクリートに対して後から打設される床版コンクリート重量）等によって助長され、ひびわれを発生させる結果となるからである。腹部コンクリート打設後、数日して床版コンクリートを打設した場合、床版コンクリート重量はある強度に達した腹部コンクリートの曲げ剛性 ( $E_c I_c$ ) と、支保工ばりの曲げ剛性 ( $E_s I_s$ ) との比に分担され、腹部コンクリートは曲げ部材として働くことになる。

支保工例 (1) につき腹部コンクリートに生ずる腹部コ

ンクリート引張応力度を計算すると次のごとくなる。

床版コンクリート重量 2.85 t/m

$$\text{曲げモーメント } M = \frac{2.85 \times 5.6^2}{8} = 11.2 \text{ t}\cdot\text{m}$$

腹部コンクリート曲げ剛性

$$E_c I_c = 3.0 \times 10^5 \cdot 1.17 \times 10^7 = 3.5 \times 10^{12}$$

支保工ばりの曲げ剛性 (I ビーム  $h=30 \text{ cm}$ )

$$E_s I_s = 2.1 \times 10^6 \cdot 1.27 \times 10^5 = 2.7 \times 10^{11}$$

したがって腹部の分担比は

$$n_c = \frac{E_c \cdot I_c}{E_c \cdot I_c + E_s \cdot I_s} = 0.93 \quad n_s = 1 - n_c = 0.07$$

$$\therefore \sigma_c = \frac{M}{Z_c} = \frac{11.2 \times 10^5}{2.34 \times 10^5} = 4.8 \text{ kg/cm}^2$$

この例では床版コンクリート重量の 93% が腹部コンクリートに分担され、コンクリートに  $4.8 \text{ kg/cm}^2$  の引張応力を生ずることになる。ちなみに全コンクリート重量 ( $6.7 \text{ t/m}$ ) に対する I ビームの曲げ応力度は  $310 \text{ kg/cm}^2$ 、最大たわみは  $0.3 \text{ cm}$  である。

このように腹部に初期応力を生ぜしめることは、設計上の仮定に反し好ましいことではないが、この初期応力を避けるためには、はりの曲げ剛性を無限大にするか、または床版重量に相当する荷重を前もって支保工ばりに載荷しておき、床版コンクリート打設時に除々に前載荷重を取除く方法が考えられる。前者は不可能なことであるが、 $E_s I_s$  を大きくすることにより多少は避けられるが、一般には支保工ばりの  $E_s I_s$  の方が小さいようである。

後者はよく行なわれる方法で、支保工の「なじみ」を調整するにもよいが、工費がかさみ現場条件によっては施工困難な場合が多い。最近ビニールの袋に水を入れて支保工の前載荷重とし、荷重を自由に調整する方法が考案されたそうであるが、この成果が大いに期待される。計算例のごとく引張応力度が  $5 \text{ kg/cm}^2$  以内であれば、さほど問題とならないと思われるが、柱間隔が大きくなるにしたがって、この影響が大きくなるから注意が必要である。

#### (4) 支保工上のプレストレス導入

指針ではプレストレスを与えてよいコンクリートの強度は、 $0.7 \sigma_{28}$  以上、材令 4~5 日以上とすることが規定されているが、場所打コンクリートの場合は、最後に打設された打継目コンクリート強度が  $150 \text{ kg/cm}^2$  程度に達したとき、

全プレストレス量の 20~30% 導入する方がひびわれを防ぎ、打継目のゆ着効果をたかめるによい方法である。この初期緊張は全ケーブルについて 20~30% のプレストレスを与える必要はなく、例えば BBRV ケーブルが全部で 10 本あるとすると、そのうち 3 本所定導入力の 90% (ネジ定着可能な範囲で) を導入すると全体に対して

$$3/10 \times 90\% = 27\%$$

の初期プレストレスが与えられたことになる。

初期緊張時においても P C 鋼材定着端には大きな応力が働くから、定着部のコンクリートは早期に打設され、所要の強度に達していなければならない。

コンクリートの強度が設計上の導入時強度に達したとき 2 次緊張を開始し、全体の 60~70% のプレストレスが導入されたとき (これは桁自重に耐えうるプレストレスであるが) スパン中央より支保工を除々に降下し桁自重を作用させる。

主要部分の脱型、支保工の降下完了後、プレストレスによるコンクリートの弾性変形を拘束することなく初期緊張ケーブルもふくめて最終緊張を行なう。

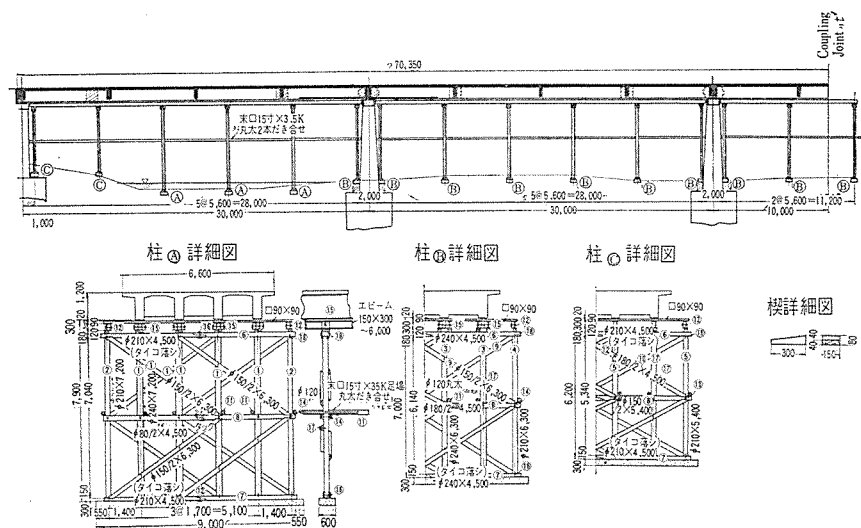
プレストレスと桁自重による応力度は、設計上一般に合成された状態で考えられるものであるから、主要断面の応力状態を検討し、支保工の降下時期を誤らぬよう注意をしなければならない。

### 3. 支保工の実例

#### (1) 永田橋 (東京都)

本橋はスパン 30 m 8 連、全長 241.5 m、有効巾員 6.0 m で、BBRV 工法による 4 径間連続桁 2 群よりなるものである。4 径間連続桁は、さらに 2 つの施工区に分割されている。図-1 は第一施工区 (張出桁を有する

図-1 永田橋支保工計画図



2 径間連続桁) の支保工を示したものである。

地盤は砂礫層であるが支保工基礎は十分つき固めたのち不等沈下を避けるため、巾 60 cm, 厚さ 30 cm のコンクリートを打設した(測定の結果では基礎の沈下は全く認められなかった)。

支柱はすべて松丸太を用い、はりには I ビーム (300 × 150 × 6 000) を 1 主桁あたり 2 本並べて使用しボルトにより連結した。

[柱の計算]

コンクリート重量	6.7 t/m	} 腹部 3.85 t/m 床版 2.85 t/m
型わく, I ビーム重量	1.7 "	
動荷重 (200 kg/m <sup>2</sup> )	1.3 "	
合計	9.3 t/m	

荷重は主桁下の柱 4 本で受持つものとする柱 1 本あたり

$$P = \frac{9.3 \times 5.6}{4} = 13.0 \text{ t}$$

松丸太 φ 240 mm を用い橋軸を丸太で連結することにより座屈長を  $2/3 \cdot L$  とすれば

$$l = 2/3 \times 7.0 = 4.67 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l}{i} = \frac{467}{6} = 78$$

$$\text{座屈係数}^3) \quad w = 2.20 + 0.8(2.5 - 2.2) = 2.44$$

$$\therefore \sigma = w \cdot \frac{P}{A} = 2.44 \times \frac{13\,000}{452} = 70 \text{ kg/cm}^2$$

針葉樹につき  $\sigma_a = 100 \text{ kg/cm}^2$  と考えれば安全である。

$$\text{支圧応力度 } \sigma_{Ia} = \frac{P}{A} = 28.8 \text{ kg/cm}^2 < 30 \text{ kg/cm}^2$$

[沈下量の推定]

◦なじみ変形 (製材) 0.1 × 3 カ所 = 0.3 cm

なじみ変形 (現場継手) 0.3 × 2 " = 0.6 "

◦柱の弾性変形

$$\frac{P \cdot L}{E \cdot A} = \frac{1.3 \times 7.0 \times 10^6}{8.0 \times 4.52 \times 10^6} = 0.25 \text{ cm}$$

◦はりの弾性変形 (腹部コンクリートのみ)

$$\frac{5 \cdot w \cdot L^4}{384 \cdot E_s \cdot I_s} = \frac{5 \times 3.95 \times 5.6^4 \times 10^9}{3.84 \times 2.1 \times 8 \times 1.273 \times 10^{12}} = 0.24 \text{ cm}$$

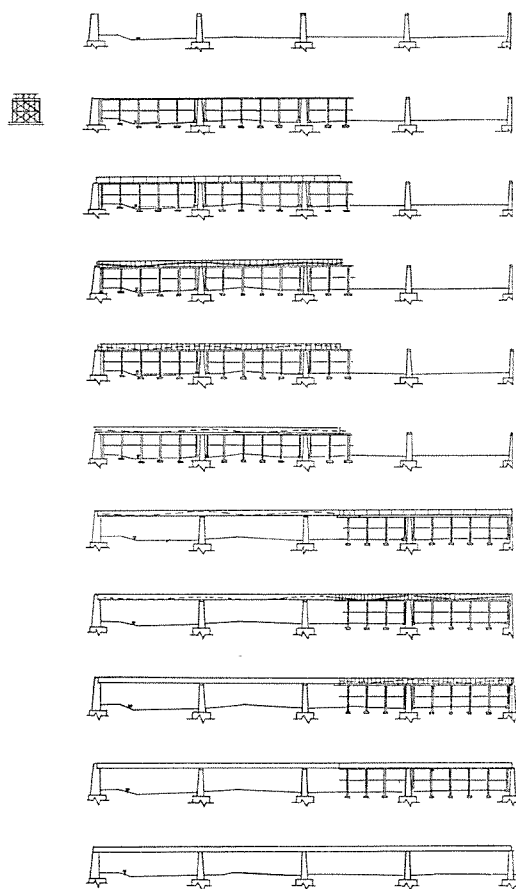
◦基礎の沈下 0

すなわち柱部で 1.2 cm の上越しを行ない、はりのたわみは 0.24 cm 程度であるから無視した。

コンクリートの打継目は図-1 に斜線で示したごとくである。

施工順序は図-2 に示すごとくで柱部は組立てたまま運搬転用した。

図-2 永田橋施工順序



(2) 山下橋 (横浜市)

図-3 山下橋支保工計画図

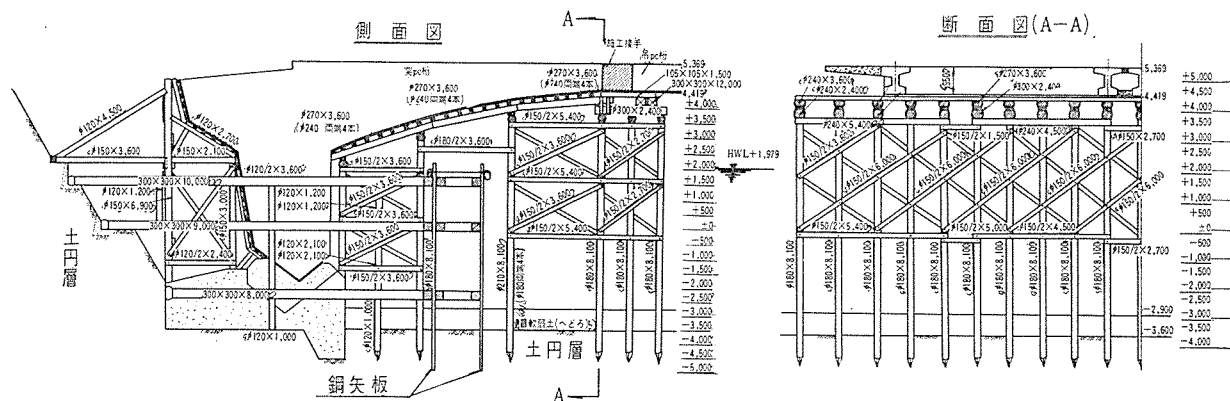


図-4 Die Weinland Brücke 全体図

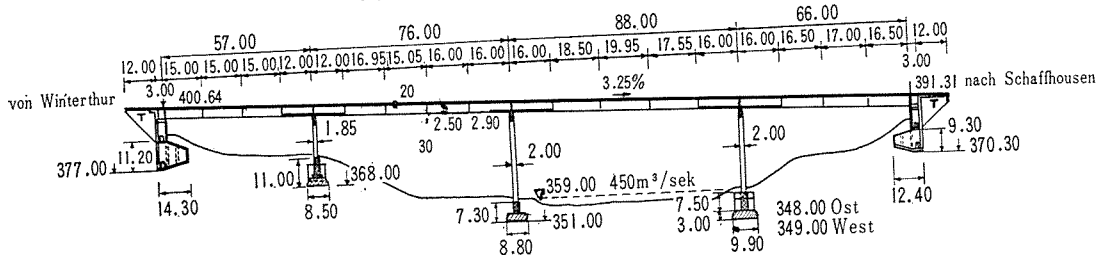
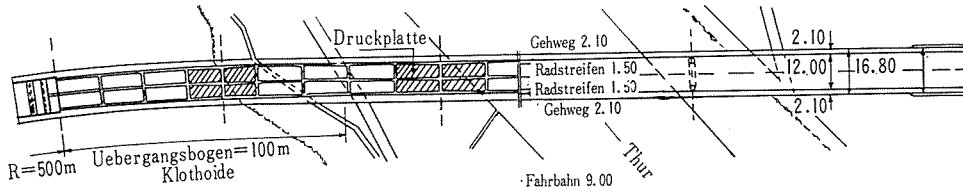


図-5



本橋は横浜市山下公園付近堀割川に架橋されたもので橋長 54 m (スパン 47 m), 巾員 18 m の BBRV 工法による 2 ヒンジ ラーメン橋である。施工中も舟運を阻害することのないようにスパン中央 24 m にプレキャスト桁を架設し、ケーブルを連結しラーメン橋としたものである。地質は硬質土丹層で支保工には図-3 に示すごとく木杭を使用したものであるが、先端に鋼製矢型キャップを取りつけても 50~70 cm 以上土丹層へ打込むことは杭頭に割裂が生じて不可能であった。

支持力は十分期待されたが、支保工の水平方向の剛性を持たせるために、杭は 1 本杭 (長さ 8.1 m) を使用し水平材と斜材で十分補強し水平力に抵抗しうる構造とした。水平材、斜材は干潮時を利用して取りつけたものである。スパン中央部のプレキャスト桁 1 本の重量約 35 ㏩で、能力 30 ㏩ のクレーン船で一端を吊り、他端は重量トロ上に乗せて架設をしたものである。

舟運と取付道路の関係上、スパン中央部は桁高 95 cm に制限されたためプレキャスト桁架設後、上下床版を合成し、ボックス構造としたもので、全体としてやや工費がかさむが、舟運を阻害しない施工法として注目されよう。

### (3) バインランド橋<sup>4)</sup> (Die Weinland Brücke)

本橋はスイスの Winterthur-Schaffhausen 間 26 km 中 (この道路は 1862 年に完成されたものであるが)、Grosslandel fingen 市付近、約 5 km をう廻させるため Thur 河に新設された橋長 293 m, 巾員 16.8 m の BBRV 工法による 4 径間連続桁橋である (図-4, 5)。

橋梁形式を選定するため 21 種類の比較設計を行なった結果、本形式が採用されたものである。

工事は 1955 年 11 月に着手し、1958 年 3 月に完成したもので、上下部平行して進められたものである。全長 293 m は 103.5+85.5+104 m の三段階に分けて施工さ

れた (図-6)。

Thur 河の煩雑で、かつ急激な増水を考慮し、写真-2 に示すように扇状の斜材が橋脚頭部と連結された 88 m スパンの木製支保工が用いられている。

扇状斜材は写真-4 に示される部材を 6 列並べ水平材で連結されている。水平材は 12~19 m で、荷重位置によって圧縮または引張材となるもので橋脚頭部に埋込まれた鋼材によって連結される。転用を考慮して伸縮可能となっている。この支保工上のコンクリート打設には、打継目と打設順序に特に考慮が払われている。図-7 に第 3 施工区の打継目と打設順序を示す。

はり材には桁高 3.2 m の斜格子状に補強した木製トラス状ガーダーが使用され、横方向の剛性を増すためガーダーの軸間隔を 1.6 m としている (写真-5)。

扇状支保工はコンクリート重量によって最大 15 cm 沈下することが計算され、上越しが行なわれたが、さらに

図-6 施工順序

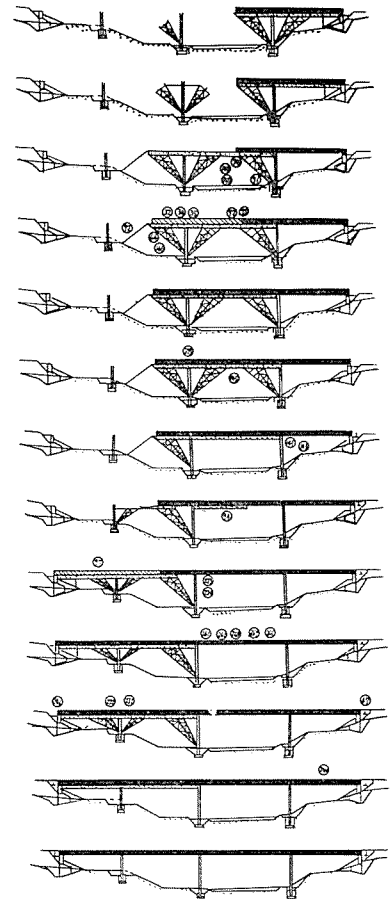


写真-7 に示される堅木製のジャッキにより 2~3 回にわたる調整が行なわれている。このジャッキは、図-7 に示すコンクリート打継目ごとに 1 主桁につき 4 個ずつ用いられ、一打設区間 (12~19 m) の高さの調整が行なわれている。すなわちトラス状の木製ガーダーはコンクリートの打継目でピン構造として働くように計画されている。ジャッキの位置にはさらに斜めの補助方杖が配置されている (写真-6)。

さらにガーダーの設計には経済的となるように後から打設される床版コンクリート荷重の 80% を既設の主桁腹部コンクリートに受持たせている。

これは主桁腹部コンクリートがある強度に達しているため、曲げ剛性の比によって曲げ部材として抵抗するからである。

写真-1 Die Weinland Brücke 全景

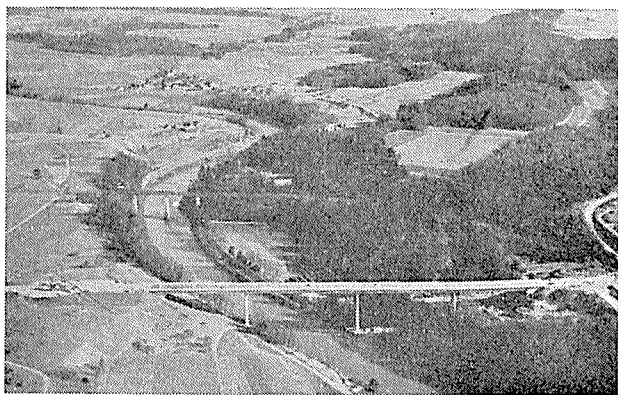


写真-2 支保工

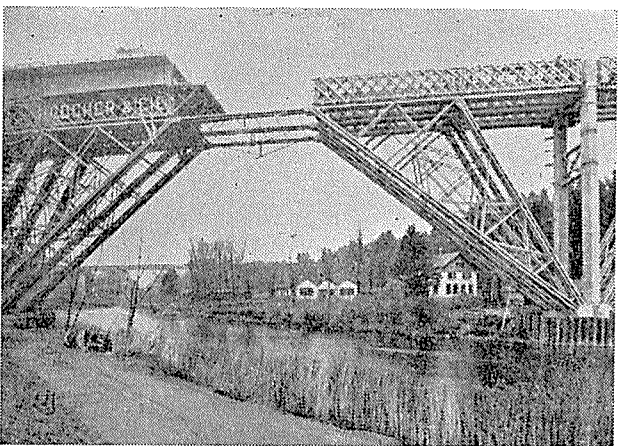
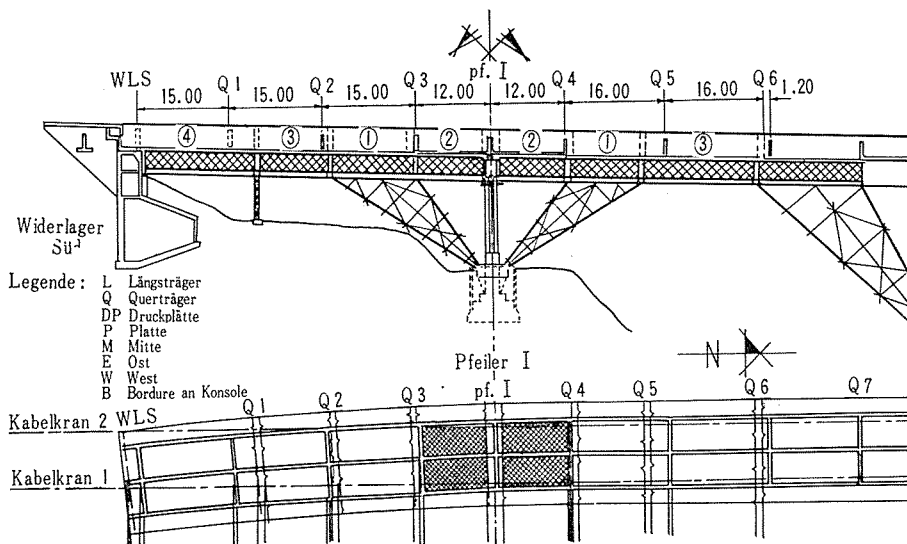


図-7 コンクリート打設順序



以上本橋の支保工は、すべて木材が主体として用いられているが、支保工のみで 1000 m<sup>3</sup> の木材が使用され

写真-3 橋脚頭部に取付けられた水平材

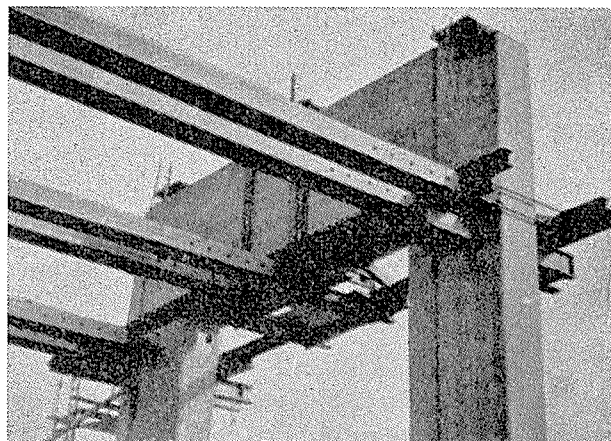


写真-4 扇状斜材

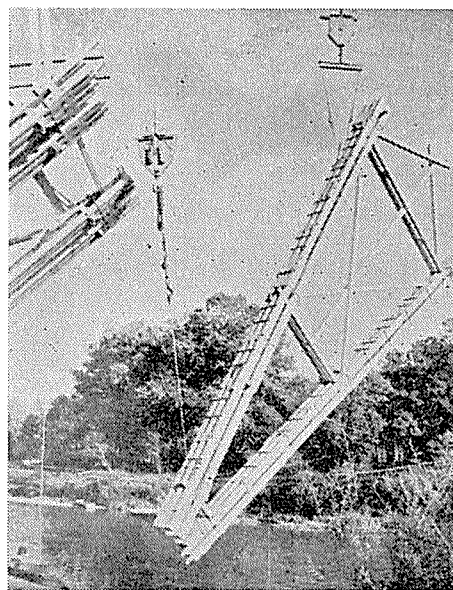
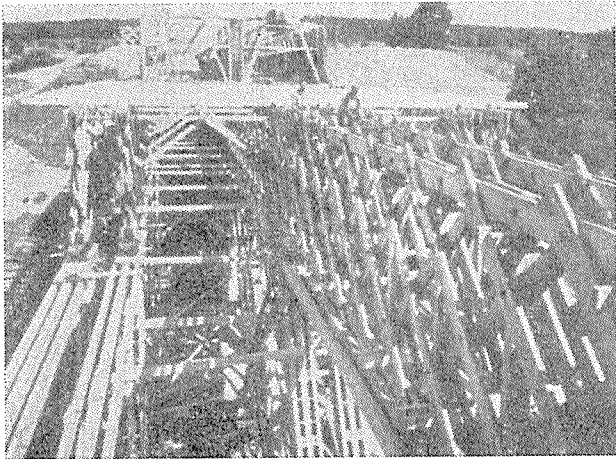


写真-5 木製ガーダー



たそうである。スイスの国情にもよると思われるが、鋼製にくらべ有利な点として木材は変形が大きいので、専門的経験者の目で直接見ることができるし、また予期しない変形が速やかに生ずる点をあげている。

#### 4. あとがき

以上場所打工法の概要を述べたものであるが、なかでも支保工は強固なもので十分目的に耐えるものでなければならぬが、あくまでも仮設工事であるから、支保工費を安くすることが、場所打工法を採用するかどうかを決定する大きな要点となる。このためには施工技術の開発と支保工材料の長期にわたる転用計画を立てることが緊急の課題であろう。

鋼橋が高張力鋼を用いた合成桁の研究を重ね、設計・施工の面で飛躍的な進歩をとげている今日、PC業界も特許という温床に甘んずることなく、設計・施工技術の開発と企業の合理化に専念し、PC橋梁の信頼性を、よりいっそう高めたいものである。

- 注 1) 「ポストテンションングPC連続部材およびその製造方法」という名称で、三和建設コンサルタントKK 猪又 稔氏の考案による工法で特許出願中である。
- 2) プレストレスト コンクリート; Vol. 5, No. 4, PC設計施工資料, PC技術協会
- 3) 横道英雄著; コンクリート橋 技報堂
- 4) Weinland Brücke Andefingen; Herausgegeben von der Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich.

写真-6 (a) 扇状斜材取付部およびガーダー支承部 (矢印がジャッキ)

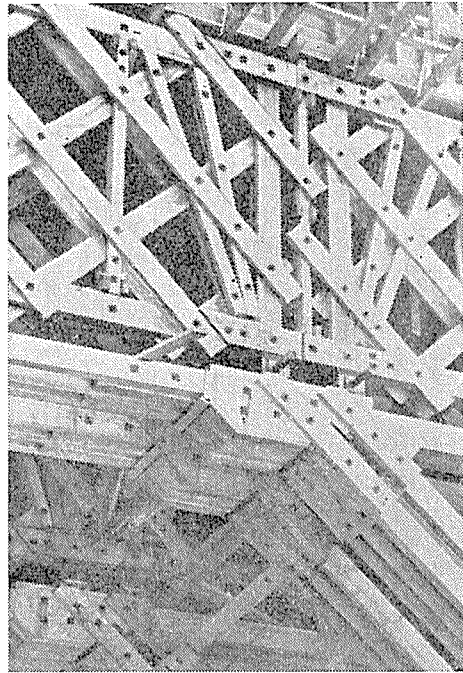
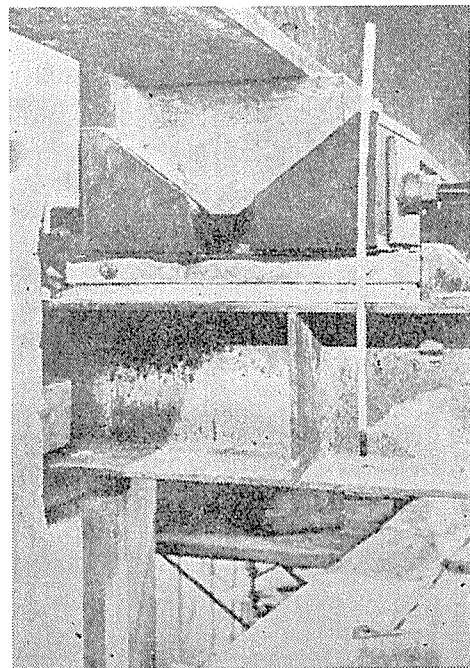


写真-6 (b) 堅木ブロックを組合わせたジャッキ (水平ロットのネジにより高さを調整できる)



1963.12.5・受付